

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

# AE

(11)Publication number : 2000-244404  
(43)Date of publication of application : 08.09.2000

(51)Int.Cl. H04B 10/02  
H04B 10/18  
H04J 14/00  
H04J 14/02

(21)Application number : 2000-043229 (71)Applicant : LUCENT TECHNOL INC  
(22)Date of filing : 21.02.2000 (72)Inventor : CHRAPLYVY ANDREW ROMAN  
EICHENBAUM BERNARD RAYMOND  
EMERY GARY PATRICK  
HABER JANICE BILECKY  
KALISH DAVID  
RAYMOND BRADFELD

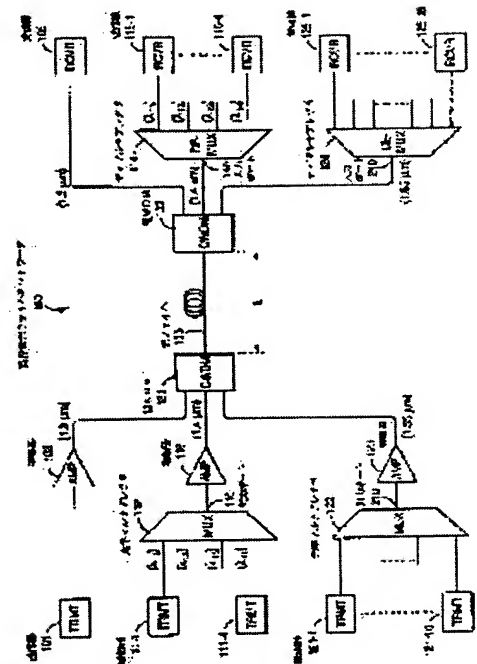
(30)Priority  
Priority number : 99 255454 Priority date : 19.02.1999 Priority country : US

## (54) WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING SYSTEM

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical transmission system that adopts a signal mode fiber system to avoid interference between a wavelength division multiplex WDM signal and an analog television TV signal.

**SOLUTION:** This wavelength division multiplex system has a 1st multiplexer 112 that connects a plurality of digital information channels to a transmission path and the transmission path including an optical fiber 130 whose zero dispersion wavelength  $\lambda_0$  is 1310 nm and whose length exceeds a span to 10 km. The loss of the optical fiber at 1385 nm is smaller than the loss at 1310 nm, and color element dispersion at a 1.4  $\mu$ m wavelength band is within a range of 1.5-8.0 ps/nm.km, and the 1st multiplexer 112 gives three or more channels of wavelength division multiplex signals within the 1.4  $\mu$ m wavelength band to the transmission path.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 08.06.2001  
[Date of sending the examiner's decision of rejection]  
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number] 3529689  
[Date of registration] 05.03.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-244404

(P2000-244404A)

(43)公開日 平成12年9月8日(2000.9.8)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード\*(参考)

H 0 4 B 10/02

H 0 4 B 9/00

M

10/18

E

H 0 4 J 14/00

14/02

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 13 頁)

(21)出願番号 特願2000-43229(P2000-43229)

(22)出願日 平成12年2月21日(2000.2.21)

(31)優先権主張番号 09/255454

(32)優先日 平成11年2月19日(1999.2.19)

(33)優先権主張国 米国 (U S)

(71)出願人 596077259

ルーセント テクノロジーズ インコーポ  
レイテッド

・ Lucent Technologies  
Inc.

アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ  
ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー  
600-700

(72)発明者 アンドリュー ローマン チュラブリヴィ  
アメリカ合衆国、07747 ニュージャージ  
ー、マタワン、ソマーセット 32

(74)代理人 100081053

弁理士 三俣 弘文

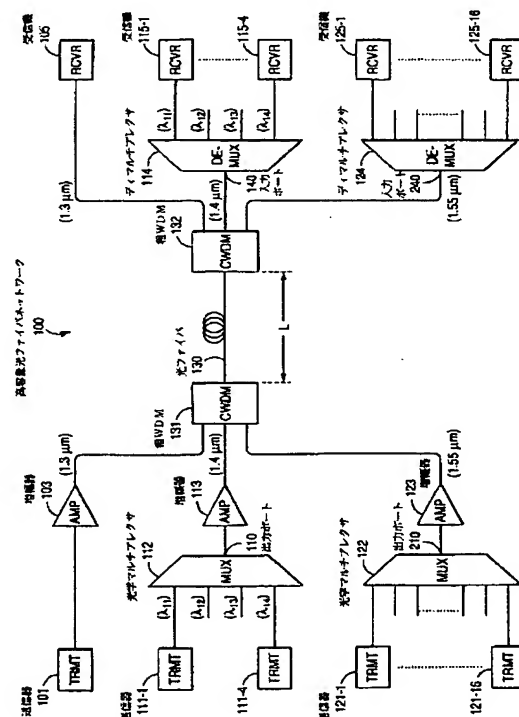
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 波長分割多重化システム

(57)【要約】

【課題】 シングルモードファイバシステムを用いて WDM信号とアナログTV信号間の干渉を回避するような光学伝送システムを提供する。

【解決手段】 本発明の波長分割多重化システムは、複数のデジタル情報チャネルを伝送パスに接続する第1マルチプレクサ112と、ゼロ分散波長 $\lambda_0$ が1310nmでその長さが10kmを超えるスパンの光ファイバ130を含む伝送パスとを有し、前記光ファイバは1385nmでの損失が1310nmでの損失よりも小さく、1.4 $\mu$ m波長領域において色素分散が1.5-8.0ps/nm-kmの範囲内にあり、前記第1マルチプレクサ112は、1.4 $\mu$ m波長領域の波長分割多重化信号の3個以上のチャネルを前記伝送パスに与える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数のデジタル情報チャネルを伝送パスに接続する第1マルチプレクサ(112)と、ゼロ分散波長( $\lambda_0$ )が1310nmでその長さ(L)が10kmを超えるスパンの光ファイバ(130)を含む伝送パスと、を有し、前記光ファイバは、1385nmでの損失が1310nmでの損失よりも小さく、1.4 $\mu$ m波長領域において、色素分散が1.5-8.0ps/nm-kmの範囲 10内にあり、

前記第1マルチプレクサ(112)は、1.4 $\mu$ m波長領域の波長分割多重化信号の3個以上のチャネルを前記伝送パスに与えることを特徴とする波長分割多重化システム。

【請求項2】 前記第1マルチプレクサに接続された複数の送信器(111-1, ..., 111-4)をさらに有し、

前記送信器は、互いに異なる所定波長の変調された光学信号を送信することを特徴とする請求項1記載の波長分割多重化システム。 20

【請求項3】 前記伝送パスを複数の受信機(115-1, ..., 115-4)に接続する第1ディマルチプレクサ(114)をさらに有することを特徴とする請求項1記載の波長分割多重化システム。

【請求項4】 前記多重化されたチャネルは、5Gb/s以上のデータレートでデジタル情報を有することを特徴とする請求項1記載の波長分割多重化システム。

【請求項5】 隣接するチャネルは、200GHz以下しか離れていないことを特徴とする請求項1記載の波長分割多重化システム。 30

【請求項6】 変調された光学信号のチャネルを1.3 $\mu$ m波長領域の伝送パスに接続する送信器(101)をさらに有することを特徴とする請求項1記載の波長分割多重化システム。

【請求項7】 1.3 $\mu$ m波長領域の前記チャネルの変調系は、振幅変調縮退サイドバンド(AM-VSB)変調を含むことを特徴とする請求項6記載の波長分割多重化システム。

【請求項8】 1.55 $\mu$ m波長領域に変調光学信号の少なくとも1つのチャネルを含むことを特徴とする請求項1記載の波長分割多重化システム。 40

【請求項9】 1.55 $\mu$ m波長領域の前記チャネルの変調系は、振幅変調縮退サイドバンド(AM-VSB)変調を含むことを特徴とする請求項8記載の波長分割多重化システム。

【請求項10】 複数のデジタル情報チャネルを1.55 $\mu$ m波長領域の伝送パスに接続する第2マルチプレクサ(122)をさらに有することを特徴とする請求項8記載の波長分割多重化システム。

【請求項11】 1.55 $\mu$ m波長領域のデジタル情報チャネルは、2.5Gb/s以上のデータレートを有することを特徴とする請求項10記載の波長分割多重化システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、シングルモード光ファイバシステムに関し、特にこのようなシステム上で波長分割多重化(WDM)のシステムに関する。

## 【0002】

【従来の技術】分散とは、ガラスのような分散機能を有する媒体内を異なる波長が異なる速度でもって伝播する現象を言う。変調キャリア信号は、多くの波長を含むためにガラス製の光ファイバの遠端から放射された光学信号が近端に入射する際ににじむ(分散する)ようになる。線形分散の場合には、これは光ファイバルートにとって補償を周期的に与えることにより解決することができ、そしてこの補償を行う段は少ないほど好ましい。

【0003】従来のシングルモード光ファイバシステムは、1285nmと1335nmの間の波長領域で動作し、そして1310nmでゼロ分散波長を有する。しかし、このようなシステムで使用される光ファイバは、非線形の相互作用およびチャネル間の混合により近接した複数のキャリア波長を伝送するのにはあまり適していない。

【0004】このような非線形現象のある限られた形態(4光子混合(4-photon mixing=4PM))は、文献例えば、D. Marcuse, A. Chraplyvy, R. Tkach著の"Effect of Fiber Nonlinearity on Long-Distance Transmission," Journal of Lightwave Technology, vol. 9, No. 1, January 1991, pp.121-128に記載されている。簡単に説明すると、4PMは異なる信号チャネル間での建設的および破壊的な干渉に起因して利得あるいは損失が変動する現象として表れる。4PMの大きさはパワーに依存し放射パワーを減少することにより減らすことができる。

【0005】マルチチャネル光学システムは、光ファイバを最も効率的に使用することができ、波長分割多重化装置を有し、この装置が近接した複数のチャネル(波長領域)を一伝送方向では1本のシングル光学パスに結合し、他の伝送方向ではこの光学パスからこれらのチャネルを分離している。従来のシングルモード光ファイバシステムは、1.55 $\mu$ mの波長領域でWDM動作を行うことができるが、補償しなければならぬ線形分散が多すぎる(例えば、約17ps/nm-km)。例えば、50から100km毎に補償する必要があり、これは実際問題としては短すぎる。

【0006】光ファイバの考え得る使用例は、あらゆるタイプのデジタル情報とアナログ情報を別個にあるいは一緒に伝送することを含む。ある使用例は、データ 50

(例、インターネットトラフィック) とテレビ (TV) 信号を送送することを含み、これは通常振幅変調の縮退側バンド (AM-VSB) 変調を利用している。アナログ信号は、本来的にノイズに対し敏感であり、そしてノイズはTVの画像で容易に観測しうる。特にWDM信号のような複数の波長を1本のファイバで伝送する場合には、励起ラマン散乱 (stimulated Raman scattering = SRS) によりWDM信号から120 nmも長い別の波長領域にエネルギーが伝播してしまう。現在のところWDM信号とアナログTV信号を同一の光ファイバで伝送するシステムは存在しない。

【0007】文献 (Fabrication Of Completely OH-Free V.A.D. Fiber in Electronics Letters, August 28, 1980 Vol. 16 No. 19) によれば、完全にOHのない光ファイバ (紫外線から赤外線までの損失スペクトラムにおいて、いかなる波長においてもOHイオンに起因する損失ピークが存在しないもの) が将来必要とされ、このような光ファイバがWDMシステムの伝送媒体として重要な役目を担うことになる。しかし、上記の文献は、このような光ファイバの分散特性に関する情報は開示されておらず、また光ファイバの利用可能な損失スペクトラム内での光学チャネルの割当てに関しても記載されていない。

#### 【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、従来のシングルモードファイバシステム用に設計された装置と適合性を有し、WDM信号間での4 PM干渉のないWDM操作が可能で、WDM信号とアナログTV信号間のSRS干渉を回避するような光学伝送システムを提供することである。

#### 【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は、1.4  $\mu$ mの波長領域で複数のWDMチャネルを伝送するよう構成された光学通信システムでの従来システムの欠点を解決するものである。本発明のシステムは、1385 nmで低損失特性を有し、1310 nmでのゼロ分散波長

( $\lambda_0$ ) で、1.4  $\mu$ m波長領域で1.5-8.0 ps/nm-kmの線形分散を有する光ファイバを含む。

【0010】この小さいがしかし重要な分散が4光子混合の影響を低減する。本発明の広義の概念においては、本発明は数多くの観測結果を反映したものである。即ち、(1) 4光子混合は、WDMシステムの設計に際し考慮しなければならない関連機構であること。(2) WDMチャネルからの励起ラマン散乱は1550 nmにおけるアナログ信号の伝送に悪影響を及ぼすこと。(3) 好ましくは、新たなWDMシステムは、従来のシングルモードファイバシステムで使用される装置と置換可能と適合性を有しなければならない。

【0011】本発明の効果としては、1.4  $\mu$ m波長領域に、WDMチャネルを配置することにより1310 nm

mと1550 nmの波長領域は、これらの領域の従来装置により利用可能となる。

【0012】本発明の他の利点としては、1.4  $\mu$ m波長領域にWDMチャネルを配置することにより、分散は、8 ps/nm-km以下となり、200 km以下の大部分の市街地での光学伝送システムでは分散補償は必要となくなる。

【0013】本発明のさらに別の利点としては、1.4  $\mu$ mの波長領域にWDMチャネルを配置することにより、1550 nmで動作するアナログ信号 (テレビ放送用) をSRSのノイズから保護するためのバッファ波長領域 (約120 nm) が存在する。

【0014】本発明の一実施例では、ラマン増幅器を1.4  $\mu$ m領域でのWDMチャネルの増幅用に使い、その際エルビウムドープの増幅器が1.55  $\mu$ m領域で動作するチャネルの増幅に用いられる。

#### 【0015】用語の説明

従来のシングルモードのガラス製光ファイバで、その特徴は、波長が1310 nmのときに分散がゼロ (0) で、波長が1550 nmのときに損失が最小で、1385 nmでの損失が高い領域が水酸基 (OH) イオンが原因である光学エネルギーの吸収となるものである。分散一単独で用いられた場合には、この用語は色素分散を意味し、キャリアスペクトラム内の波長依存性の速度に起因する線形効果を意味する。

【0016】スパン再生機を有しない光ファイバの長さの意味する。この長さは、光学増幅器を含むことがあるが、これは電子の形態への信号の変換あるいは電子の形態からの信号の変換が行われるステーション間の距離である (通常最も近い信号再生機間の距離)。このスパンは、全体のシステムを規定し、さらに別のスパンと組み合わせることもできる。平均システム波長-WDMチャネルのグループのキャリア周波数の算術平均で決定される特定の波長を意味する。

【0017】波長領域-波長の特定の領域に対する短縮表現である。本明細書において、1.3  $\mu$ mの波長領域は、1285 nmと1335 nmの間の波長を含む。

1.4  $\mu$ mの波長領域は、1335 nmと1435 nmとの間の波長領域を含む。1.55  $\mu$ m波長領域は、1500 nmと1600 nmの間の波長を含む。WDM-波長分割多重化。異なる中心波長を有する複数の通信チャネルが光ファイバのような1本の信号伝送パスに結合される状況を表す。

#### 【0018】

【発明の実施の形態】図1には本発明の高容量の光ファイバネットワーク100を示す。重要な点は、複数の波長分割多重化 (WDM) チャネルは1.4  $\mu$ m波長領域 (即ち、1335-1435 nm) で動作する点である。さらにまた、このWDMチャネルは、1.3  $\mu$ m波長領域 (即ち、1285-1335 nm) で動作するア

ナログCATV信号と、1.55 $\mu$ m波長領域(即ち、1500-1600nm)で動作する他のWDMチャネルと光ファイバを共有している。

【0019】図にはキャリア波長( $\lambda_{11}$ ,  $\lambda_{12}$ ,  $\lambda_{13}$ ,  $\lambda_{14}$ )を有する4本の高速データチャネルが示されており、各キャリアは、10Gb/sのデータレートで送信器111で変調される。このようなチャネルは、電話、データ、画像を含む大量のデジタル信号を送信できる。これらのチャネルは、1400nmを中心に100GHzの中心間チャネルスペースを有するよう示されている。

【0020】同図には4本のチャネルが示されているが、これ以上の数のチャネルあるいはこれ以下の数のチャネルも使用することができる。さらにまた、チャネルスペースは、増幅器のバンド幅およびマルチプレクサとディマルチプレクサのような装置の入手製および/または価格に基づいてネットワークの設計者により決定されるように100GHz以上あるいはそれ以下でもよい。送信器111-1は、10Gb/sのレートで入力データを受信し、コヒーレントな光ソースを変調し、その公

称波長 $\lambda_{11}$ は1400nmである。その後この光学信号は、光学マルチプレクサ112に入力され、そのタスクは異なる波長を有する複数の入力を1本の出力ポート110上に結合することである。

【0021】さらにまた16本のデジタルチャネルが1.55 $\mu$ m波長領域で示されており、各チャネルは2.5Gb/sのレートで送信器121内で変調されたキャリア信号を含む。このチャネルは、電話とデータと画像を含むデジタル情報を伝送するためのものである。これらのチャネルは、1550nmを中心に分散しており、1550nmで0.8nmに対応する100GHzのキャリアスペースを有する。

【0022】同図には16本のチャネルが示されているが、これ以上の数のチャネルあるいはこれ以下の数のチャネルも使用することができる。さらにまたチャネルスペースは、増幅器のバンド幅およびマルチプレクサとディマルチプレクサのような装置の入手製および/または価格に基づいて、ネットワークの設計者により決定されるように100GHz以上あるいは以下でもよい。その後送信器121からの光学信号は、光学マルチプレクサ

122に入力され、そのタスクは異なる波長を有する複数の入力を1本の出力ポート210上に結合することである。

【0023】光学多重化と分離化は、光学グレーティング(即ち、複数の並列導波路で隣導波路とそれぞれ所定量だけ長さが異なる)に接続された一対のスターカプラを介して行われる。このような装置の例は、米国特許第5,002,350号と第5,136,671号と第5,412,744号に開示されている。

【0024】光学送信の位置方向においては、マルチプ

レクサは複数の別々の波長( $\lambda_{11}$ ,  $\lambda_{12}$ , ...,  $\lambda_{1n}$ )が1個のスターカプラの別々の入力ポートに入射され、そして他のスターカプラの1本の出力ポートから放出されるようなマルチプレクサとして用いることができる。光学伝送の他の方向においては、マルチプレクサは、複数の異なる波長がスターカプラの1個のポートに入射され、それぞれの波長にしたがって他のスターカプラの複数のポートから放射されるようなディマルチプレクサとして機能する。

【0025】ネットワーク100における送信器(101, 111, 121)と受信機(105, 115, 125)との間の距離によっては光学信号を増幅する必要がある。光学増幅器は再生機が好ましい。その理由は再生機は電子的増幅を行うために、光学信号を電気信号に変換しそしてその後再び光学信号に戻すことをせずに直接光学信号を増幅するからである。

【0026】好ましくはラマン増幅器103, 113が、1.3と1.4 $\mu$ mの波長領域で用いられ、エルビウム増幅器123が1.55 $\mu$ m領域で用いられる。しかし、ラマン増幅器は、ネットワーク100内の全ての波長で用いることもできる。ラマン増幅器は、25-30nmの利用可能バンド幅を有し(これに関しては、米国特許第5,623,508号、特許日1997年4月22日を参照のこと)、これは本発明での使用に適したものである。

【0027】さらにまたラマン増幅器は、バンド幅を増加させるような並列構成で配置することができる。実際のところかなりの努力が多段の非常に広い光学増幅器の設計に向けられている。M. Yamada et al, 著の論文vol. 33, No. 8, Electronics Letters, on April 10, 1997, pp. 710-711.を参照のこと。半導体光学増幅器も全ての関連波長で低コストで本発明で用いることができるが性能は落ちる。

【0028】3つの異なる波長領域における光学信号を組み合わせることは、粗WDM(CWDM)131により行うことができる。このCWDM131における「粗(coarse)」とはWDMチャネルの組の近接したチャネルを受け入れるルータから分別するためのものである。粗WDM131は、1.3 $\mu$ m領域と1.4 $\mu$ m領域と1.55 $\mu$ m領域の光学信号を1本の光ファイバ130に結合する。

【0029】マッハツェンダー干渉系が粗WDM131を構成するのに用いられるのに適したものである。光ファイバ130はシングルモード光ファイバを含み、その損失と分散特性は図3に示した通りである。光ファイバ130の構造と特性については、後述するがこの光ファイバ130は再生あるいは分散の補償を行うことなく長さだけ延びることができる。

【0030】大部分の光学デバイスは双方向性であり、図1に示されたネットワーク100は、対称であるので

右半分の動作は容易に推論することができる。例えば、CWDM132は1.3 $\mu$ m領域の波長を受信機105に向け、1.4 $\mu$ m領域の波長をディマルチプレクサ114に、そして1.55 $\mu$ m領域の波長をディマルチプレクサ124に向ける。同様にディマルチプレクサ114は入力ポート140上の光学信号を波長に従った特定の出力ポートに向ける。

【0031】これはキャリア波長 $\lambda_{11}$ を有する10Gb/sのチャネルの1つの出力ポートに経路指定し、キャリア波長 $\lambda_{12}$ を有する別の10Gb/sのチャネルを別の出力ポートに経路指定するものである。そして10Gb/sチャネルの各々は、受信機115に分配され、そこで光学信号から電気信号に復調し変換する。図1の下部は、1.55 $\mu$ m領域の伝送を取り扱っており、ここでは16本のチャネルが送信器121から受信機125に送信される。この波長領域においては、エルビウム増幅器123が好ましい。

【0032】光学マルチプレクサ122とディマルチプレクサ124は、機能的に上記の光学マルチプレクサ112とディマルチプレクサ114に類似する。図においては送信器121と受信機125は、2.5Gb/sのレートでデジタル情報を通信する。送信器(101, 111, 121)、受信機(105, 115, 125)、マルチプレクサ(112, 122)、ディマルチプレクサ(114, 124)は当業者に公知のものである。

【0033】ネットワーク100内の光ファイバ130のスペンは、10Gb/sのビットレートで分散補償を必要とせずに200kmもの長さである点は本発明の大きな利点である。これが可能な理由は、光ファイバ130の分散は1.4 $\mu$ m波長領域では8.0ps/nm-km以下であり、また1.55 $\mu$ m領域におけるWDMチャネルのデータレートは2.5Gb/s以下だからである。このような距離は市街のネットワークのほとんど全てをカバーするのに十分な長さである。

【0034】図2は、最大100Gb/sの速度で動作する1.4 $\mu$ m波長領域におけるWDMチャネルと、1.55 $\mu$ m波長領域のアナログCATVチャネルとを有する高容量光ファイバネットワーク200の第2実施例である。ネットワーク200内で用いられる素子は、ネットワーク100内で使用されたそれとほぼ同一である。ただし送信器141と受信機145は振幅変調の縮退サイドバンド(AM-VSB)変調を用いた1.55 $\mu$ m領域のTV用放送信号を送受信するものに適したものである。

【0035】AM-VSBアナログ変調は、不正信号が追加された場合にはTVピクチャーの画像が劣化する点でノイズに対し感受性が高い(ノイズに弱い)。図2は、放送用TV信号と共にデジタル伝送の多くの光学信号を搬送する技術を開示したもので、同図においては、TV光学チャネルはSuper Head Endから広い分散の好ま

しい波長(即ち、1550nm)である。

【0036】複数の波長を1本の光ファイバ上で伝送する場合には、ある波長から別の波長に信号エネルギーを伝播する非線形のメカニズムがいくつかある。これらのメカニズムのうちの1つは、励起ラマン散乱であり、これは特に1本の光ファイバ上で搬送される複数の波長がある場合に、励起ラマン散乱(SRS)はエネルギーをより高い波長に伝播する手段を与えるために特に問題である。以下の議論は、Optical Fiber Telecommunications IIIA, 編集者KaminowとKochのテキストからのpp.239-248の抜粋である。

【0037】励起ラマン散乱(SRS)は、光の振動と分子の振動の間の非線形のパラメトリック相互作用である。1本の光ファイバに入射された光は、部分的に散乱され、周波数がダウンシフトする。光学周波数のこの変化は、分子振動周波数に対応する。励起ラマン散乱(SRS)は、励起ブリリアン散乱(SBS)に類似するが、順方向あるいは逆方向の何れかで起きる。

【0038】ラマンゲイン係数は、ブリリアンゲイン係数よりも約3桁小さく、その結果単一チャネルシステムにおいては、SRSのしきい値は、SBSのしきい値よりも約3桁大きい。しかしSRSのゲインバンド幅は12THz、即ち120nmのオーダーであり、SBSのそれよりも遙かに大きい。このSRSは、WDMシステム内の別々のチャネルを結合させ、その結果クロストークを引き起こす。

【0039】同文献の図7を参照すると、同図は溶融シリカ製のファイバ内のラマンゲインを示す。WDMシステムにおいては、SRSに起因してより長い波長の信号は、より短い波長の信号により増幅され、これによりより短信号における劣化と長波長におけるノイズを引き起こす。SRSは、最大140nmで分離された波長のチャネルを結合するが、120nmを超えると大幅に小さくなる。

【0040】高密度WDM伝送システムに対し好ましい方法として、そして最も効率的なものとして多数の波長を搬送する信号が存在する場合には、これらの信号は、累積的に最大120nmだけ長い波長上で搬送される信号にエネルギーを与える。図2に示すように、1.55 $\mu$ m領域内で伝播するAM-VSB信号にとっては、このことは1430nmと1550nmの間の波長上のいかなる信号もエネルギーをAM-VSB信号に与えそれを劣化させることを意味する。その結果、一方では放送用TV信号はできるだけ分離しなければならない、他方ではできるだけ多くの活性波長用の光ファイバを開発する必要がある。

【0041】図3は、本発明で使用されるのに適した光ファイバの線形分散(303)と伝送損失(301)の特性を示す。ここに示された波長領域における損失は、主にレイレイ散乱と水酸基イオン(OH)吸収に起因す

る。レイレイ散乱とは、光ファイバの材料内での密度と組成の変動から生じる現象である。レイレイ散乱は、 $1/\lambda^4$  に比例する。ここで  $\lambda$  は光の波長である。

【0042】光ファイバの損失に下限を設定することが重要である。例えば、 $1.4\mu\text{m}$  領域における損失は、ガラス内に存在する OH イオンの数で決定される。このような損失は、異なる振動モードに関連する波長における OH イオンにより吸収される光波エネルギーから生ずる。そのため  $1.4\mu\text{m}$  領域内における動作は、長距離光学伝送（即ち、 $10\text{km}$  以上）に対しては、除外され

るが、その理由は OH イオンによるエネルギー吸収に起因する損失のためである。

【0043】この損失は、図 3 に示すようにウォーター（水分）ピーク 302 で、これは従来のガラス製ファイバのものである。このような損失は本発明で使用されるガラス製ファイバでは表れない。本発明で使用するのに適した光ファイバの仕様を示す。しかし、本発明で受け入れ可能な光ファイバの全体の範囲を規定するものでなく、単なる説明のためのものである。

【0044】

#### 代表的な光ファイバの仕様

最大減衰：

1310nm	0.35-0.40 dB/km
1385nm	0.31 dB/km
1550nm	0.21-0.25 dB/km

モードフィールド直径：

1310nm	$9.3 \pm 0.5 \mu\text{m}$
1550nm	$10.5 \pm 1.0 \mu\text{m}$

コア／クラッド層の非同心性  $< 0.6 \mu\text{m}$

クラッド層の直径  $125 \pm 1.0 \mu\text{m}$

カットオフ波長  $< 1260 \text{nm}$

ゼロ分散波長  $1300-1322 \text{nm}$

分散  $> 0.8 \text{ps/nm-km}$  ( $1335-1435 \text{nm}$ )

分散傾斜  $< 0.092 \text{ps/nm}^2\text{-km}$  (最大)

マイクロベンディング  $1550 \text{nm}$  で  $< 0.5 \text{dB}$  (直径 32mm で 1 回転)

マイクロベンディング  $1550 \text{nm}$  で  $< 0.05 \text{dB}$  (直径 75mm で 100 回転)

コーティング層の直径  $245 \pm 10 \mu\text{m}$

引っ張り強度  $100 \text{kpsi}$

【0045】本発明は  $1.4\mu\text{m}$  波長領域で低損失の光ファイバを用いている。ここで低損失とは、光学信号が受ける減衰量が従来のシングルモード光ファイバに比較して大幅に低いものを意味する。このような光ファイバの製造方法を次に説明する。

【0046】図 4 は、 $1385 \text{nm}$  で低損失を有する光ファイバの製造方法のステップを示す。最初の 3 つのステップ (41-43) は、ガラス製のチューブで被覆する OH 含有量が低い（即ち、 $0.8 \text{ppb}$  以下の）コアロッドの製造に関連する。したがって最初の 3 つのステップは、クラッド層／コアの比率が 7.5 以下で、OH 含有量が  $0.8 \text{ppb}$  以下のコアロッドを形成する単一のステップで置換することができる。好ましくはコアロッドは以下に説明するように、ステップ 41 で示す気相軸方向堆積 (Vapor Axial Deposition=VAD) プロセスにより形成される。

#### 【0047】コアロッドの製造

図 5 を参照して、ガラス製粒子即ち「スート」がシリカ

製のスターティングロッド上に堆積される VAD プロセスを説明する。コアロッド 50 はコア 51 を有し、このコア 51 の屈折率はクラッド層 52 の屈折率よりも大きい。光は屈折率が大きい領域の方向に曲がり、これは光ファイバの中心軸に沿って光を導波する物理学の法則である。高屈折率の領域を形成するためにトーチ 501 に燃料（例、酸素と水素）と原材料（例、 $\text{GeCl}_4$  と  $\text{SiCl}_4$ ）を供給し、そのトーチで火炎内に蒸気となった原材料をガラスロッドの中心方向に向けて流す。

【0048】このフレームにより原材料が反応してコアロッド 50 の上にガラス粒子（スート=すず）を堆積する。コアロッドは、最初の堆積場所はその上端で垂直方向に延びている。そして垂直方向の上方に回転しながら動かし、その結果ガラス製スートが長さ方向全体とその周囲に沿って堆積される。別のトーチ 502 を用いてコア 51 の上にクラッド層 52 を堆積する。クラッド層 52 を形成するためにトーチ 502 内で用いられる原材料は、例えば  $\text{SiCl}_4$  である。コア 51 の Ge ドーピン



グは、クラッド層よりも大きな屈折率を有するコアを形成する1つの方法である。

【0049】別法として、堆積したクラッド層にフッ素をドーピングしてコアよりも低い屈折率のクラッド層を形成するために、 $\text{SiCl}_4$ はコア51を形成するのに用いられる原材料である。このような状況において、例えば $\text{SF}_6$ 、 $\text{CCl}_2\text{F}_2$ 、 $\text{CF}_4$ のようなフッ化物をクラッド層用のトーチ502内で $\text{SiCl}_4$ と混合する。様々な光ファイバの製造方法の詳細は、Optical Fiber Telecommunications II, Academic Press, Inc., (C) 1988 10 AT&T and Bell Communications Research, Inc.のChapter 4に記載されている。特にセクション4.4.4 (169-180頁)は、VADプロセスを取り扱っている。

【0050】上記のVADプロセスにおいては、堆積したクラッド層の直径(D)は、コアの直径(d)の7.5倍以下である。コアロッドの形成は、高価なプロセスであるのでコアロッドの製造に対し時間を節約することは、光ファイバの低コスト化に直接結びつく。実際コアロッドに必要なVAD体積の量は $(D/d)^2$ に比例する。コアロッドのD/dが小さくなると、オーバクラッド層のチューブの純粋性の必要も大きくなる。

【0051】D/dを減らすことにより、光ファイバ内の光学パワーは、オーバクラッドチューブ内を伝播し、そしてOHイオンのような不純物によりさらに吸収損失が増える。これはOHイオンは移動性であり、光ファイバを引き抜く動作中に特にコアの方向に移動するためである。そしてさらに悪いことにOHイオンは、水素に分解し、そしてこの水素はOHそのものよりも遙かに移動性が高く、その結果光ファイバを引き抜き作業中に光ファイバのコア内に拡散する。

【0052】光ファイバのコア内の水素と原子欠陥との間の反応によりOHイオンがそこに形成される。クラッド層/コアの比率が2.0以下のコアロッドは、異常に低いOH含有量を有するオーバクラッドチューブを必要とし、これは現在のところコスト的に合うものではない。したがって堆積したクラッド層/コアの比率の実際的な範囲としては $2.0 < D/d < 7.5$ である。

【0053】図4のステップ42は、約1200℃の温度で塩素またはフッ素含有雰囲気中にコアロッドを配置することにより脱水素化を行うことを示す。このステップにおいては、コアロッドは多孔性のスートボディであり、例えば塩素ガスがこのスートボディの光子内に容易に入り込みOHイオンを塩素イオンで置換し、その結果殆ど水分のないスートボディが得られる。このOHイオンの置換速度は、塩素ガスの流速と脱水素化の温度に関連する。

【0054】図4のステップ43は、コアロッドを温度が1500℃でヘリウム雰囲気中に配置することにより合体強化することを意味する。このステップにおける合

体強化は、多孔質のスートロッドを粒子境界のない高密度のガラスに変換することである。この脱水素化ステップと合体強化ステップの詳細は、米国特許第3,933,454号(特許日1976年1月20日)に開示されている。

【0055】図4のステップ44は、コアロッドは酸素-水素トーチを用いて細長くすることを示す。これは、このステップに必要とされる大量の熱を供給する最も対コスト比の良いものである。別法としてこのステップは、以下に説明するような水素のないプラズマトーチを用いて行われる。そしてこれによりエッチング(ステップ45)が必要でなくなる。通常、VADプロセスにより成長したコアロッドは、適当な大きさのオーバクラッドチューブに適合させるのには大きすぎ、通常挿入する前にその直径を減らすように引き延ばす。

【0056】引き延ばしは、ガラス製の旋盤上で行われ、そしてその構造は公知である。このコアロッドを回転させるために、旋盤上のヘッドストックとテイルストックとの間に搭載する。コアロッドが回転するにつれて、トーチは一定の速度で中心軸に沿ってヘッドストックの方向に移動させる。トーチを移動させるのと同時にテイルストックをヘッドストックの方から離すように動かす、これによりコアロッドを引き延ばして直径を小さくする。

【0057】水素と酸素のような爆発性のガスをそれぞれ30リットル/分(1pm)と151pmの流速でトーチ内に流す。水素の使用が商業的には一般的であり、これによりコアロッドの表面上にOH層が形成される。コアロッドの引き延ばしは、従来公知のもので、例えば、米国特許第4,578,101号(特許日1986年3月25日)に開示されている。

#### 【0058】コアロッドのエッチング

ステップ45は、細長い状態のコアロッドを水素のないプラズマトーチでもってエッチングする。プラズマによるエッチングプロセスの詳細を次に述べる。他のエッチング技術を用いてコアロッドの表面からOHイオンを除去することができるが、これらの他のエッチング技術は例えば機械的研磨、化学的エッチングを含む。

【0059】等温プラズマは、シリカとシリケートガラスをガラスロッドの外部表面から高速で除去する(エッチングする)のに用いることができる(これに関しては、米国特許第5,000,771号を参照のこと)。等温プラズマトーチを用いる際の、材料除去の主なメカニズムは、プラズマの高温(通常、プラズマの中心部の9000℃以上のレベルに達する)に起因する蒸気化である。導電性のファイヤボールを耐火性の誘電体表面に接触させることにより、エネルギーを表面に移動させ表面温度を誘電体材料の気化温度以上にさせる。

【0060】光ファイバの全体コストは、より大きなオーバクラッドチューブを用いることにより下げることが

できる。好ましくはこのオーバクラッドチューブは合成シリカを含み、これは高純度／低減衰／高引っ張り強度を有する。オーバクラッドチューブの純粋性がコアに近かに近くチューブを配置できるかを決定する。ステップ 46 は、コアロッドが十分に低レベルの OH しか有さないガラス製チューブで被覆することであり、これは D／

d の値が小さくなればなるほどチューブの純粋性は高くなる（即ち、その OH の含有量は低い必要がある）。例えば、以下の表は、オーバクラッドチューブ内の様々な OH 濃度レベルを示し、そしてこれらは本発明で使用するのに十分低いものである。

【0061】

D/d	OH 濃度
7.5	< 200 ppm
5.2	< 1.0 ppm
4.4	< 0.5 ppm

【0062】図 4 のステップ 47 は、ガラス製チューブをコアロッドの上にコラップスしてプリフォーム 60 を形成した断面を図 6 に示す。コラップスは、オーバクラッドチューブ 62 を加熱するために、リング形状のトーチを用いて行われ、そしてこのオーバクラッドチューブ 62 はコアロッド 50 の包囲して垂直方向に延びる。このプロセスの詳細は、米国特許第 4,820,322 号 20 に開示されている。最後に図 4 のステップ 48 は、光ファイバを加熱した（約 2000℃）のプリフォームの端部から引き抜くプロセスを示す。

【0063】本発明は、図 1, 2 に示した実施例とは別の多重化チャネルに適用できる。エルビウム増幅器またはラマン増幅器以外の半導体製の光学増幅器の使用および WDM チャネルの均一でないスペーシングおよび本明細書で開示した以外のデータレートでの動作も本発明の変形例にすぎない。

【図面の簡単な説明】

【図 1】最大 10Gb/s の速度で動作する 1.4μm 波長領域内の WDM チャネルと、最大 2.5Gb/s の速度で動作する 1.55μm 波長領域内の WDM チャネルを含む高容量の光ファイバネットワークの第 1 実施例を表す図

【図 2】最大 10Gb/s の速度で動作する 1.4μm 波長領域内の WDM チャネルと、1.55μm 波長領域内のアナログ CATV チャネルを含む高容量の光ファイバネットワークの第 2 実施例を表す図

【図 3】本発明で使用する光ファイバの色素（線形）40 分散と伝送損失を表すグラフ

【図 4】本発明で使用する光ファイバを製造するステップを表すフローチャート図

【図 5】軸方向堆積プロセスによりコアロッドを製造する方法を表す図

【図 6】本発明で使用するガラス製光ファイバを引き抜くのに用いられる光ファイバプリフォームの断面図

【図 7】1500nm のポンプ波長での溶融シリカ用のラマンゲイン係数対周波数シフトの関係を表すグラフ

【符号の説明】

50 コアロッド

51 コア

52 クラッド層

501, 502 トーチ

60 プリフォーム

62 オーバクラッドチューブ

100, 200 高容量光ファイバネットワーク

101, 111, 121, 141 送信器

103, 113, 123 増幅器

105, 115, 125, 145 受信機

110, 210 出力ポート

112, 122 光学マルチプレクサ

114, 124 ディマルチプレクサ

30 130 光ファイバ

131, 132 粗 WDM (CWDM)

140, 240 入力ポート

301 損失

302 フォーターピーク

303 分散

41 コアロッドの VAD による製造

42 塩素含有雰囲気中でのコアロッドの脱水素化 温度

43 ヘリウム雰囲気中でのコアロッドの合成 温度

44 コアロッドを延ばす（酸素－水素トーチ）

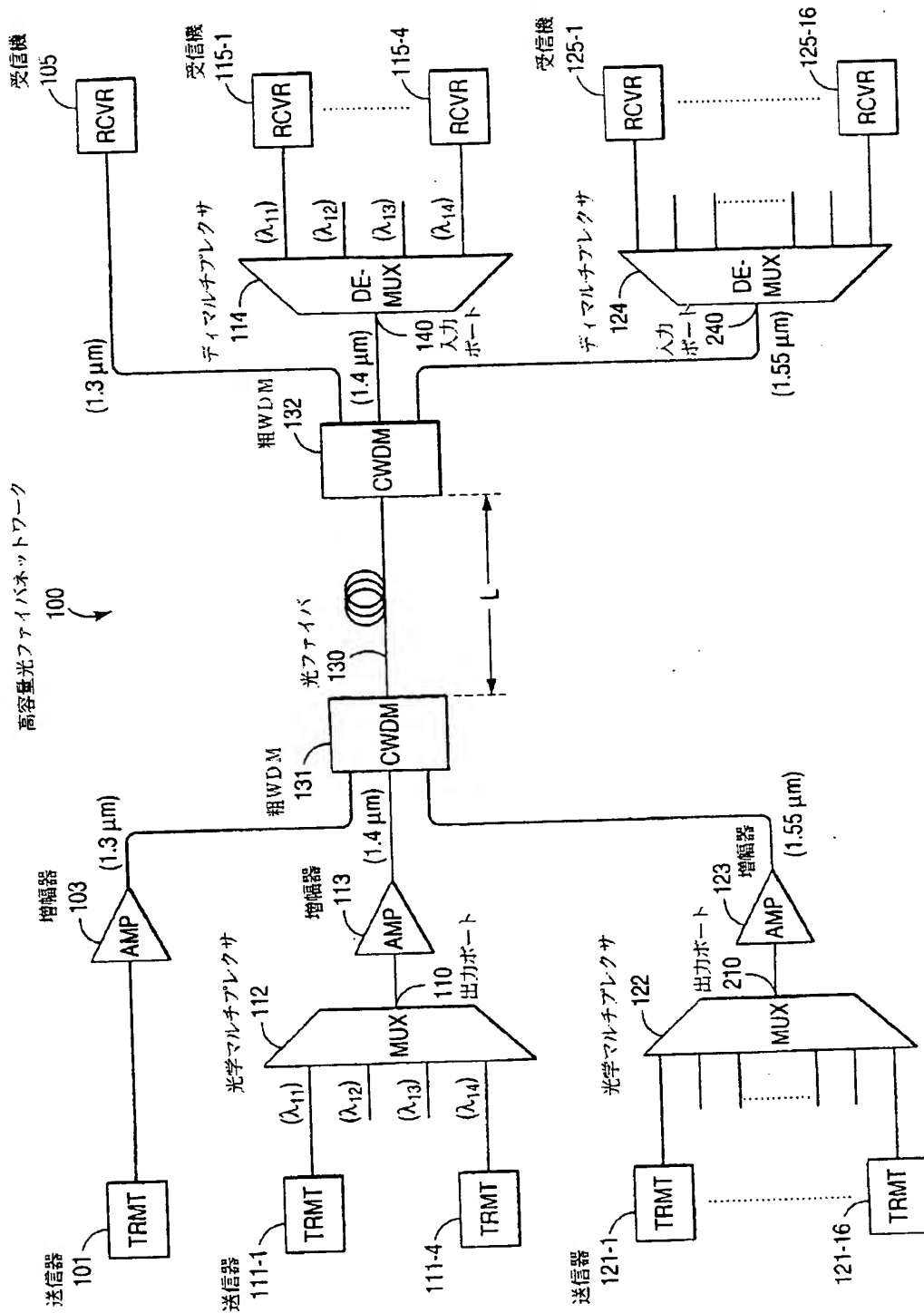
45 (OH) 不純物を除去するためにコアロッドをブラズマエッチングする

46 十分低いレベルの (OH) を有するガラス製チューブでコアロッドを被覆する

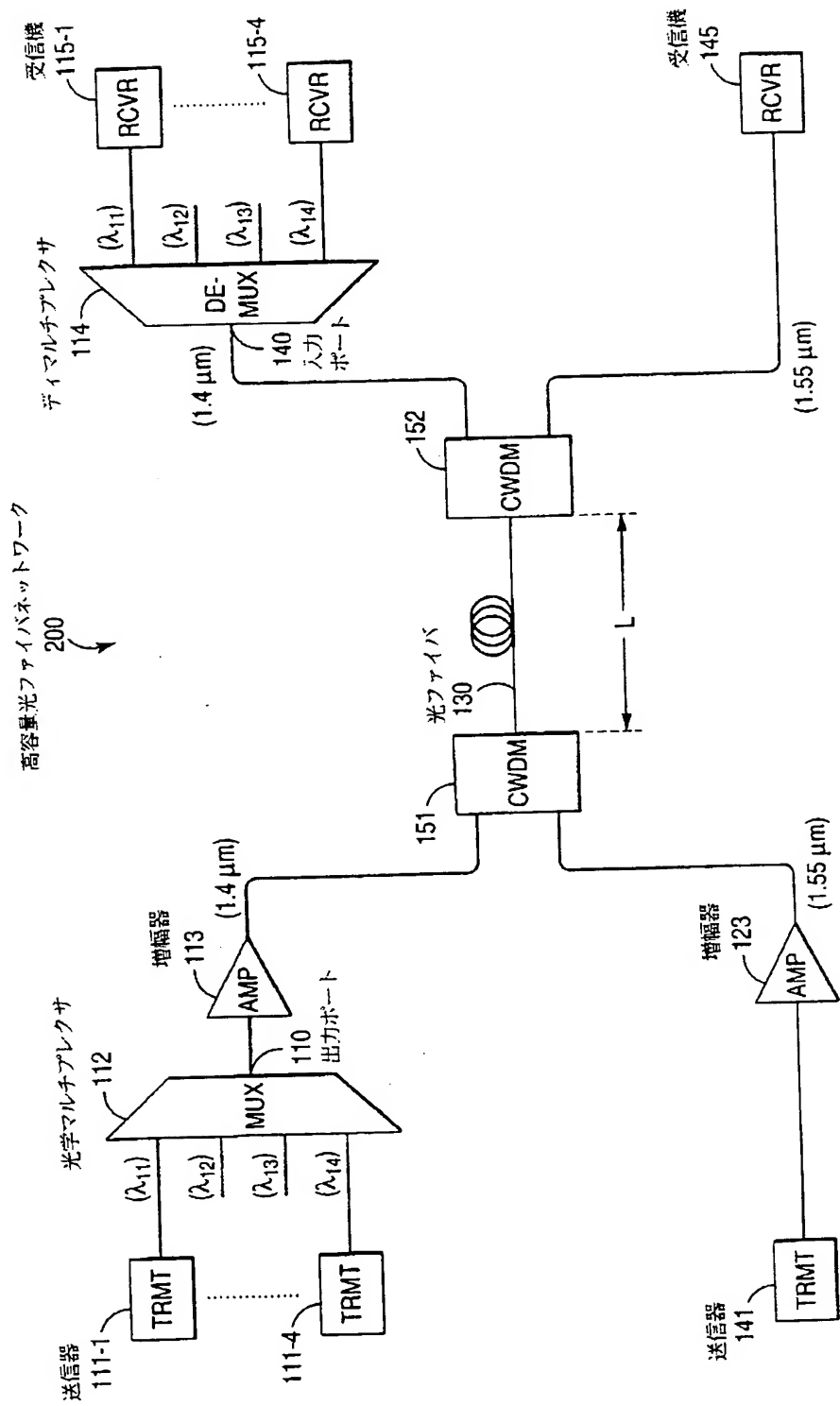
47 プリフォームを形成するためにコアロッド上にガラス製チューブをコラップスする（潰す）

48 プリフォームから光ファイバを引き抜く

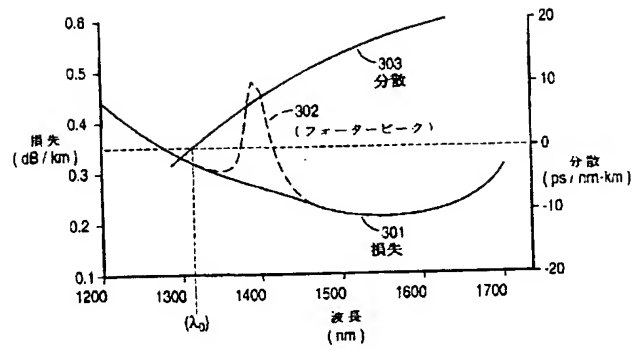
【図 1】



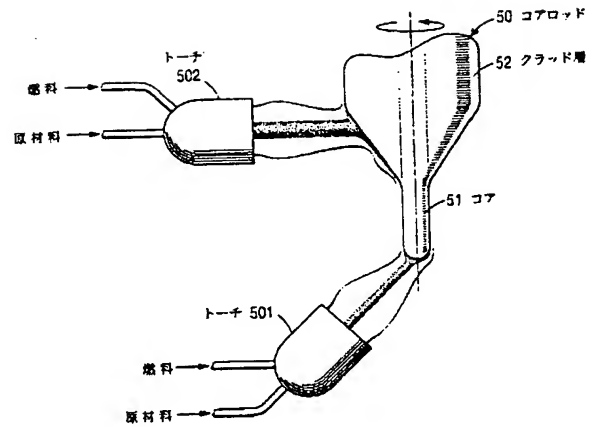
【図 2】



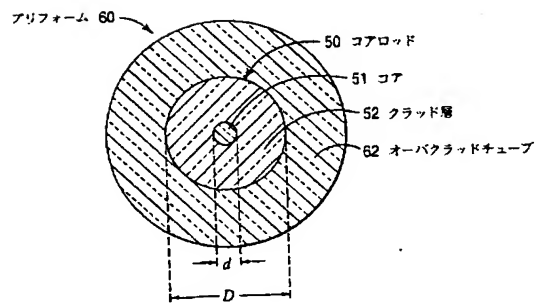
【図 3】



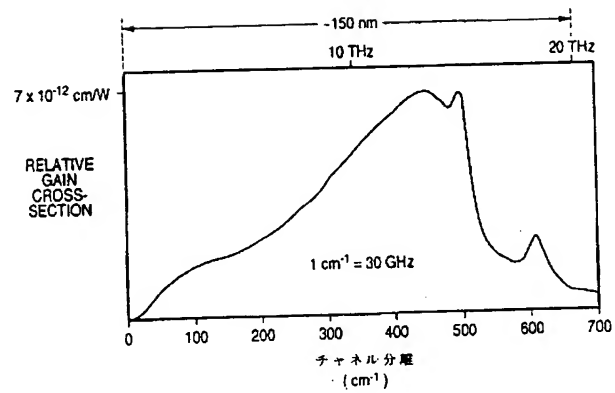
【図 5】



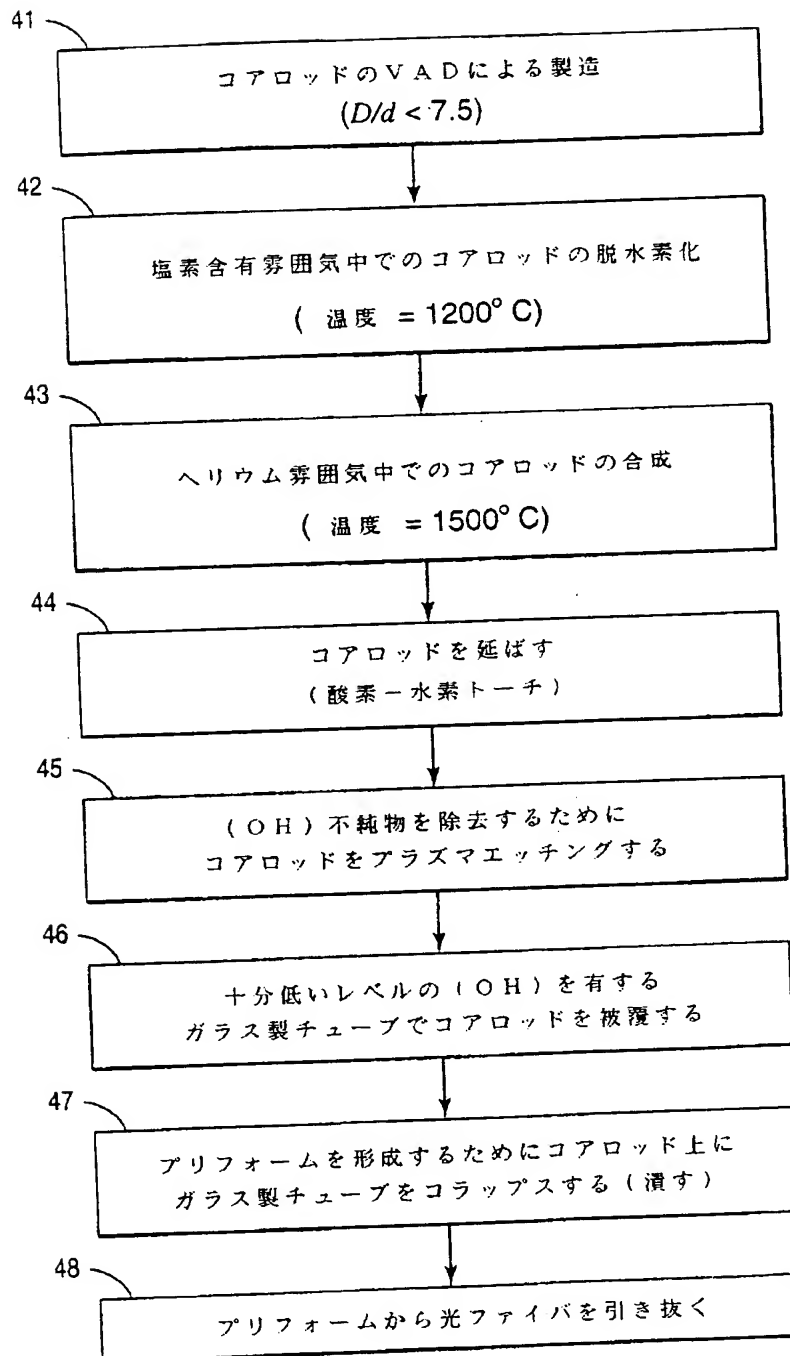
【図 6】



【図 7】



【図 4】



フロントページの続き

(71)出願人 596077259  
600 Mountain Avenue,  
Murray Hill, New Je  
rsey 07974-0636U. S. A.

(72)発明者 バーナード レイモンド エイチエンバウ  
ム  
アメリカ合衆国、07920 ニュージャージ  
ー、バスキング リッジ、ジュニア  
ウェイ 18  
(72)発明者 ギャリー パトリック エメリー  
アメリカ合衆国、07750 ニュージャージ  
ー、モンマウス ビーチ、メドウ アヴェ  
ニュー 9

(72)発明者 ジャニス ビレッキー ヘーバー  
アメリカ合衆国、30075 ジョージア、ロ  
スウェル、リヴァー ブラフ パークウェ  
イ 400  
(72)発明者 デヴィッド ケーリッシュ  
アメリカ合衆国、30076 ジョージア、ロ  
スウェル、トゥルーヘッジ トレース  
330  
(72)発明者 レイモンド ブラッドフィールド  
アメリカ合衆国、30247 ジョージア、リ  
ルバーン、フィンガー クリーク 3532